

УДК 624.131.54: 624.012.03

*Ю.Л. Винников, д.т.н., профессор  
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка  
А.В. Суходуб, инженер  
ООО «ЭКФА», г. Полтава  
О.В. Кичаева, к.т.н., доцент  
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСИЛЕНИЯ ПРИ НАДСТРОЙКЕ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗДАНИЯ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

*На базе численного моделирования напряженно-деформированного состояния и геодезических наблюдений за деформациями оснований и фундаментов исследуемого здания оценена эффективность выбранных мер усиления. Проверена сходимость результатов отдельных мероприятий мониторинга.*

***Ключевые слова:** реконструкция, мониторинг, напряженно-деформированное состояние, основание фундаментов, усиление, расчетная схема.*

УДК 624.131.54: 624.012.03

*Ю.Л. Винников, д.т.н., профессор  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка  
О.В. Суходуб, інженер  
ТОВ «ЕКФА», м. Полтава  
О.В. Кічаєва, к.т.н., доцент  
Харківський національний університет будівництва та архітектури*

## **ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДСИЛЕННЯ ПРИ НАДБУДОВІ ІСНУЮЧОЇ БУДІВЛІ У СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ**

*На базі чисельного моделювання напружено-деформованого стану та геодезичних спостережень за деформаціями основ і фундаментів дослідної будівлі оцінено ефективність обраних заходів підсилення. Перевірено збіжність результатів окремих заходів моніторингу.*

***Ключові слова:** реконструкція, моніторинг, напружено-деформований стан, основа фундаментів, посилення, розрахункова схема.*

UDC 624.131.54: 624.012.03

*Y.L. Vynnykov, ScD, Professor  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University  
O.V. Sukhodub, engineer  
TOV «EKFA», Poltava  
O.V. Kichaeva, PhD, Associate Professor  
Kharkov national university of building and architecture*

## **EVALUATION OF EFFECTIVENESS IN AMPLIFICATION SUPERSTRUCTURE OF THE EXISTING BUILDINGS IN THE COMPLEX ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS**

*On the basis of numerical modeling of the stress-strain state and geodetic observations over deformations bases and foundations of the test building assessed the effectiveness of selected measures of amplification. Checked the convergence the results of individual monitoring activities.*

**Keywords:** reconstruction, monitoring, stress-strain state, the base of foundations, reinforcement, analytical model.

**Введение.** Причиной отказа системы «основание – фундамент – сооружение» может считаться выход за предельное состояние одного или нескольких факторов, определяющих надежность строительного объекта в процессе проектирования, строительства и эксплуатации.

В силу роста объемов реконструкции зданий и сооружений существует потребность оценки надежности решений по усилению несущих строительных конструкций, их оснований и фундаментов.

**Обзор последних источников исследований и публикаций.** Как регламентируют нормативные документы [1 – 3], в процессе реконструкции требуется проведение мониторинга в виде совокупности мероприятий [4, 5] (геодезические наблюдения, численные исследования и др.), позволяющих установить близкое к реальному напряженно-деформированному состоянию (НДС) несущих конструкций и оснований зданий и сооружений [6 – 8].

Для обоснования увеличения нагрузок на основание при реконструкции зданий и сооружений без усиления фундаментов или упрочнения их основания учитывают: изменение параметров конструктивной схемы здания; первичную нормативную базу проектирования; закономерности упрочнения природного и насыпного грунтов соответственно от длительного обжатия под подошвой фундамента и в результате их самоуплотнения [9 – 11].

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Одной из важнейших проблем для современных исследователей является реализация адекватной расчетной модели системы «основание – фундамент – сооружение» (ОФС). Если для нового строительства разработан уже достаточный инструментарий такого моделирования, то для реконструируемых объектов существует еще много особенностей, которые следует учитывать в единой расчетной схеме. К таковым, например, относят существование поврежденных конструктивных элементов здания до реконструкции (трещины, уменьшение сечения элементов), деформации основания, имеющиеся на момент реконструкции, изменение условий эксплуатации здания, изменение инженерно-геологических условий и т. п.

В связи с вышеизложенным, **целью исследования** является оценка эффективности принятого усиления конструкций зданий. Для ее достижения были поставлены следующие задачи:

- моделирование и анализ НДС системы «основание – фундаменты – надземные несущие конструкции» на всех этапах реконструкции;
- рассмотрение возможных рисков при проведении реконструкции;

– оценка принятого в проекте реконструкции усиления составляющих системы ОФС и конструктивных элементов здания.

**Основной материал и результаты.** Рассмотрим одноэтажное здание магазина с подвалом в г. Полтава (рис. 1). На данном примере анализировался характер деформаций основания фундаментов сооружения и их величин, возникающих на стадиях реализации проекта надстройки, а также сопоставлялись значения расчетных деформаций, полученных посредством моделирования объекта методом конечных элементов (МКЭ), и результаты нивелирования осадочных марок на натурном объекте.

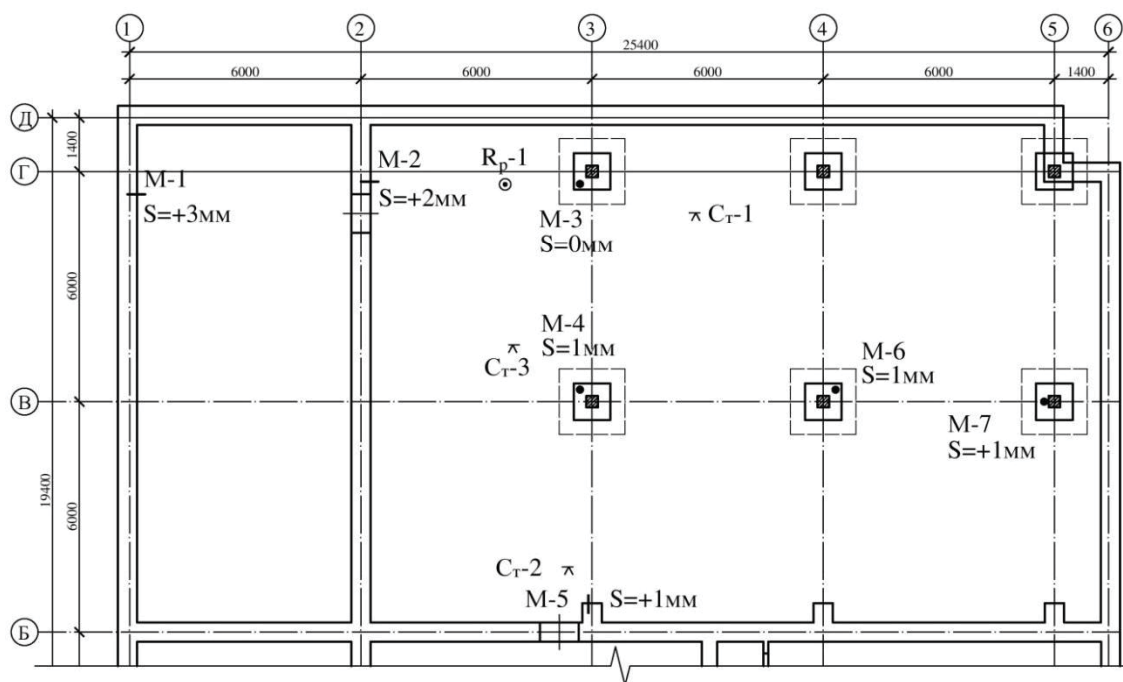


**Рис. 1 – Стадии реализации процесса реконструкции одноэтажного здания, соответствующие циклам нивелирования при наблюдениях за деформациями его основания: а – 0-й; б – 1-й; в – 2-й; г – 3-й; д – 4-ый**

Конструктивная схема объекта – смешанная. Несущими элементами является сетка железобетонных колонн с шагом 6 х 6 м, а также продольные и поперечные кирпичные стены. Фундаменты – мелкого заложения на природном основании, ленточные под стены и отдельно стоящие под колонны. Основание до глубины 8,7 м сложено лессовидными суглинком и супесью, которые находятся в «деградированном» состоянии. Эти грунты относятся к слабым (их модуль деформации  $E < 5$  МПа). Уровень грунтовых вод находится на расстоянии 2,5 – 3 м от подошвы фундаментов здания.

При обследовании несущих конструкций дефекты и повреждения, которые могут влиять на несущую способность, зафиксированы только в стене по оси Б в местах ее уширения для опирания ригелей. Это трещины с шириной раскрытия до 3 мм. Также при освидетельствовании фундамента установлено, что уровень пола по оси Б выше уровня подошвы фундамента всего на 5 – 8 см, что негативно сказывается на несущей способности основания фундамента. Основание фундамента по оси 2 замачивается вследствие утечек из водонесущих коммуникаций (рис. 2).

Авторы организовали геодезические наблюдения за осадками основания фундаментов здания. Нивелирование выполняется по семи осадочным маркам, которые установлены в подвале здания на стенах (М-1, М-2, М-5) и фундаментах колонн (М-3, М-4, М-6, М-7) (рис. 2).



**Рис. 2 – Схема размещения деформационных марок на колоннах и стенах в подвале здания (указаны только осадки после второго цикла нивелирования)**

Для оценки НДС системы ОФС здания в процессе демонтажа существующих строительных конструкций и начального этапа реконструкции был выполнен силовой расчет здания. Расчетная схема

здания выбрана в виде пространственной двухуровневой коробки (подвал + 1-й этаж) с надподвальным перекрытием и покрытием, работающей на растяжение – сжатие и изгиб в двух плоскостях, сопровождающихся сдвигом и кручением. Коробка опирается на ленточные и отдельно стоящие фундаменты, заложенные на разной глубине.

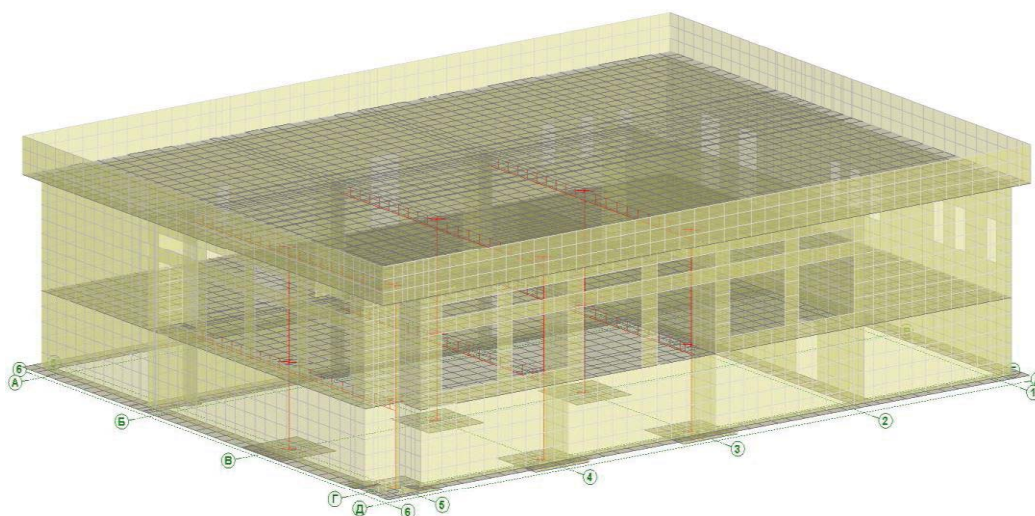
В качестве основания использована модель с двумя коэффициентами постели (Власова – Пастернака) [12]. Для колонн, ригелей и перемычек проемов расчетная схема принята в виде пространственного стержня с соответствующим поперечным сечением.

Для выполнения расчетов в программном комплексе расчетная схема промоделирована конечными элементами (КЭ). Общий вид модели расчетной схемы и разбивка на конечные элементы показаны на рис. 3 – 6. Для модели приняты следующие КЭ:

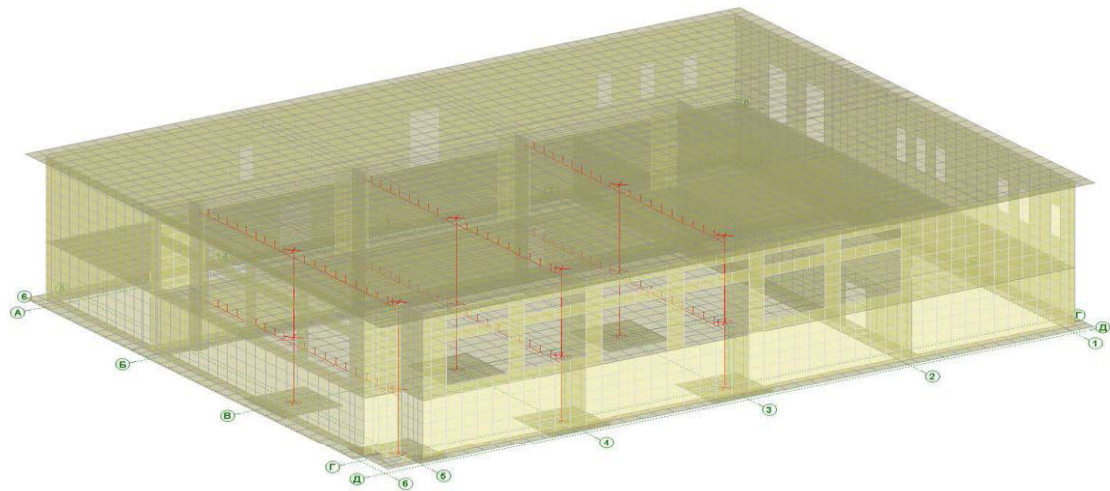
- для стен, перекрытий, ленточных фундаментов и плитной части отдельно стоящих столбчатых фундаментов – оболочечный элемент с шестью степенями свободы в каждом узле;
- для колонн, перемычек, ригелей – стержневые элементы с шестью степенями свободы в каждом узле.

Жесткостные параметры КЭ заданы в соответствии с данными натурных обследований. Для КЭ, имитирующих кирпичную кладку, определен модуль деформации в соответствии с нормами Украины для каменных и армокаменных конструкций.

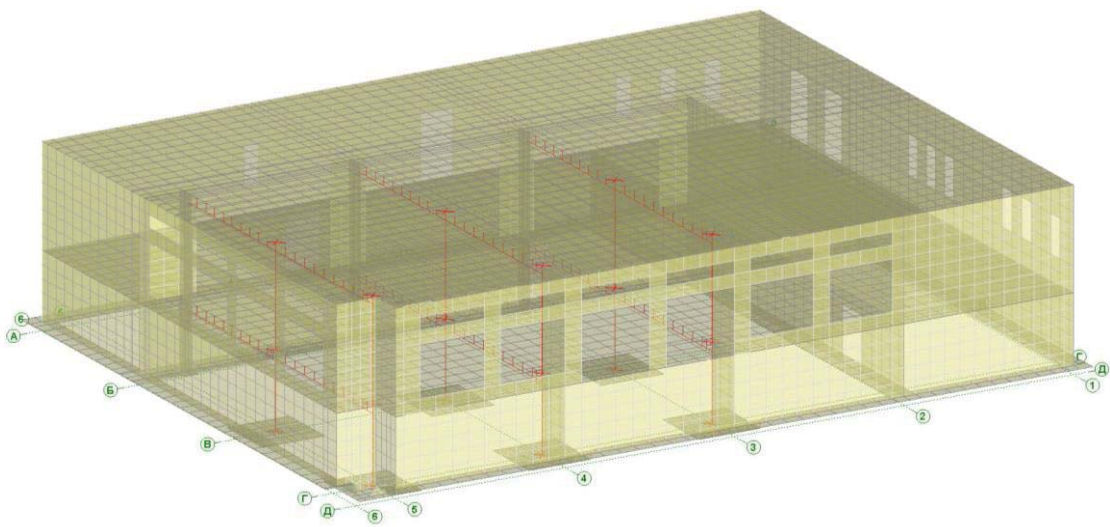
Для железобетонных колонн, ригелей, перемычек, блоков ФБС подвала, плит перекрытия, покрытия, парапета модули деформации заданы в соответствии с нормами Украины по проектированию бетонных и железобетонных конструкций. Коэффициенты постели основания приняты для суглинка лессовидного с характеристиками:  $\gamma_{II} = 17,90 \text{ кН/м}^3$ ,  $\varphi_{II} = 20^\circ$ ,  $E = 3 \text{ МПа}$ ,  $c_{II} = 24 \text{ кПа}$ .



**Рис. 3 – Расчетная схема МКЭ здания магазина до реконструкции**

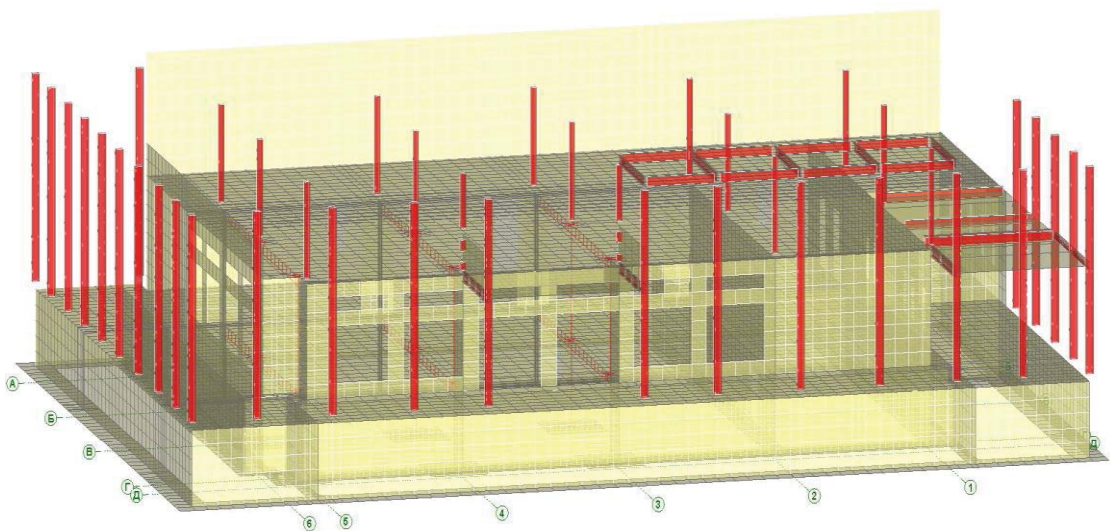


**а**

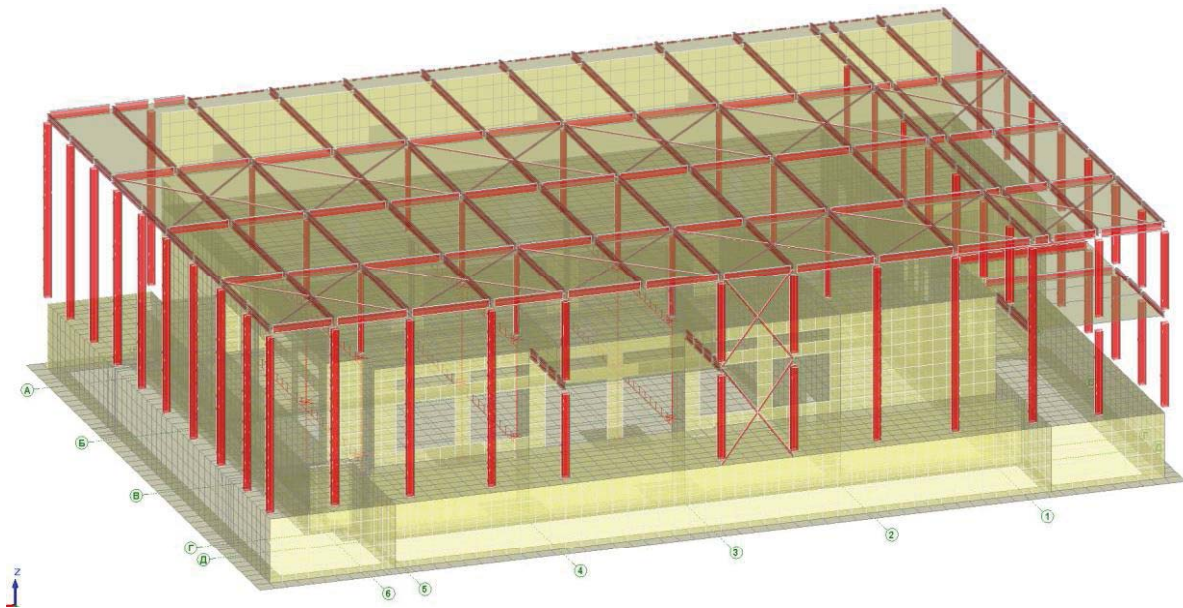


**б**

**Рис. 4 – Расчетная схема МКЭ здания в процессе демонтажа конструкций: 2-й (а) и 3-й (б) циклы нивелирования**



**Рис. 5 – Расчетная схема МКЭ здания в момент 4-го цикла нивелирования**



**Рис. 6 – Расчетная схема МКЭ здания в момент 5-го цикла нивелирования**

Нагрузки на расчетную схему принимались следующими:

- постоянные – собственный вес всех конструкций и грунта;
- временные – снеговая нагрузка для 5-го снегового района;
- ветровая нагрузка для 3-го снегового района Украины;
- полезная нагрузка на перекрытие.

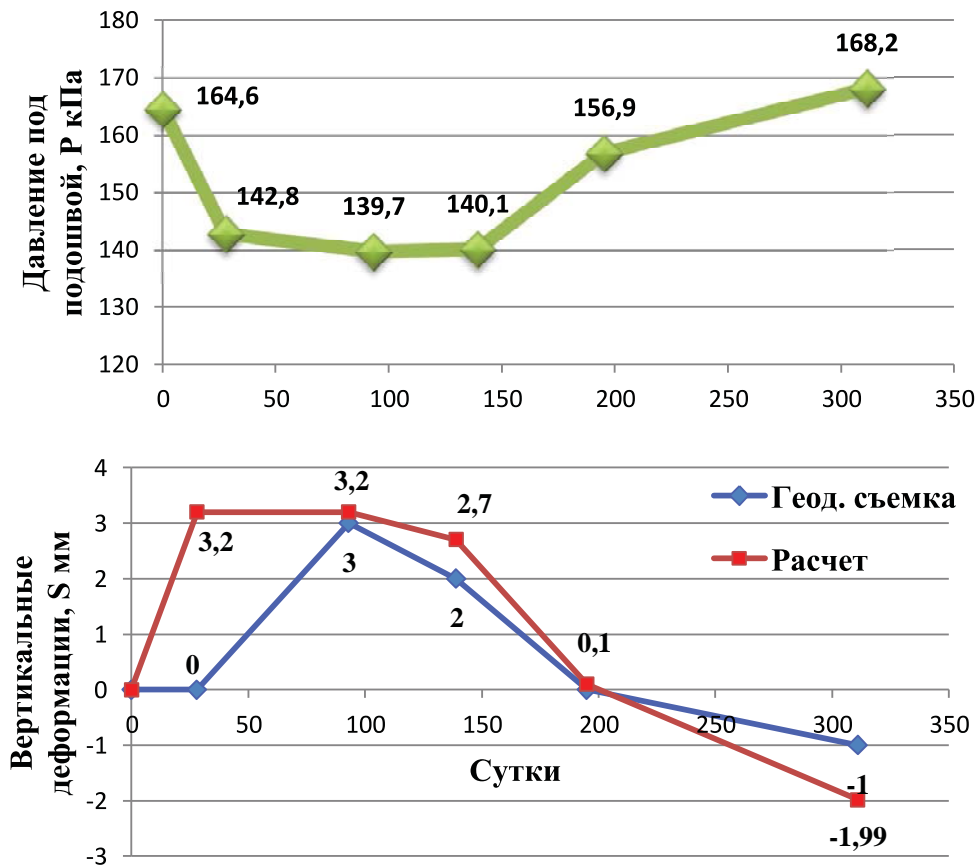
Статический расчет выполнен с помощью лицензионного программного комплекса SCAD для Windows (версия 11.5). При расчете были выполнены комбинации нагрузок в соответствии с нормативным документом Украины «Нагрузки и воздействия» и определены расчетные сочетания усилий для элементов. Расчет выполнялся в пять этапов:

- 1 – здание магазина до реконструкции (рис. 3);
- 2 – в здании отсутствует конструкция кровли, парапет, откопан котлован по оси 6 и Д/4-6 (рис. 4, а);
- 3 – демонтированы парапетные плиты, отрыт котлован в осях 1 – 6 и по ряду Д, на покрытии отсыпан песок для строительных нужд (рис. 4, б);
- 4 – устроены новые фундаменты по трем сторонам здания, по ним уложены плиты перекрытия на отм. 0,000, смонтированы наружные металлические колонны (рис. 5);
- 5 – смонтированы колонны второго этажа, балки перекрытия, уложен профнастил (рис. 6).

Результаты расчетов представлены в табл. 1 значениями осадок основания в процессе демонтажа и пристройки здания магазина. Эти показатели сопоставлены с данными геодезических наблюдений за указанный период. Согласно наблюдениям, наибольшие деформации разуплотнения основания произошли под подошвой фундаментов стен, где начальное среднее давление составляло  $p = 162 - 223$  кПа.

**Таблица 1 – Сопоставление рассчитанных значений вертикальных деформаций здания с данными геодезических наблюдений**

№	Знач. № мар-ки	Деф-ции – 2-й цикл, мм		Деф-ции – 3-й цикл, мм		Деф-ции – 4-й цикл, мм		Деф-ции – 5-й цикл, мм	
		геод. съемка	расчет 2 - 1	геод. съемка	расчет 3 - 1	геод. съемка	расчет 4 - 1	геод. съемка	расчет 5 - 1
1	М – 1	+3	+3,21	+2	+2,71	0	+0,08	-1	-1,99
2	М – 2	+2	+2,67	0	+1,18	0	+0,37	-2	-3,35
3	М – 3	0	+2,54	0	+1,9	0	+1,44	0	+0,2
4	М – 4	-1	-0,14	-1	-2,11	-1	-1,95	0	-2,42
5	М – 5	+1	+1,13	+1	+1,66	0	-2,98	0	-3,77
6	М – 6	-1	-0,54	0	-2,26	0	-1,36	0	-1,83
7	М – 7	+1	+0,7	+1	+1,0	0	-0,15	0	+0,39



**Рис. 7 – График вертикальных деформаций марки М-1**

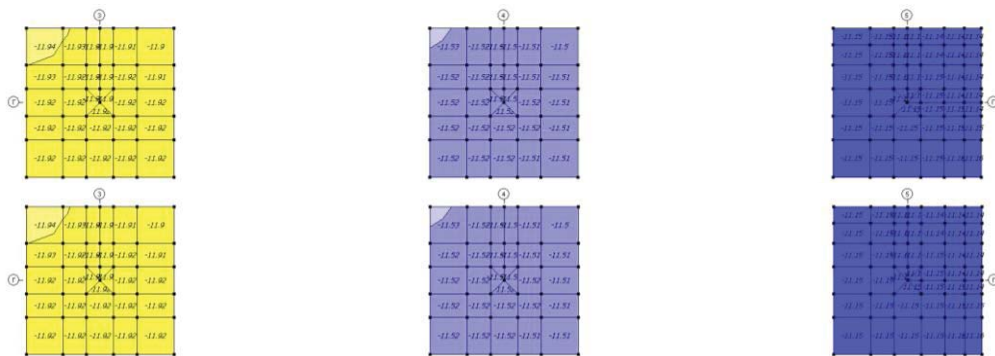
Среднее давление под подошвой фундаментов колонн значительно ниже ( $p = 106 - 151$  кПа), что хорошо согласуется с итогами моделирования, здесь  $p = 111,4 - 125,2$  кПа.

Возможными рисками при надстройке в данном случае может быть:

- увеличение нагрузки на несущие конструкции, в результате которых усилия, возникающие в элементах, превысят их несущую способность;



– возможность проявления неравномерной деформации основания здания сверх нормативного значения в силу особенностей конструктивной схемы здания и сложных грунтовых условий площадки.



**Рис. 8 – Давление под подошвой отдельно стоящих фундаментов, кПа**

Согласно расчетам, возможно увеличение усилий в железобетонных колоннах каркаса более чем в 1,5 раза. Поэтому необходимо произвести усиление колонн, что и было предложено в проекте реконструкции (рис. 9, а). К неотложным мероприятиям по усилению здания можно отнести и взятие в обойму кирпичных столбов наружных стен (рис. 9б).



**Рис. 9 – Усиление конструкций в реконструируемом здании:**  
**а) железобетонных колонн; б) кирпичных столбов**

Расчетами установлено, что значение неравномерной деформации следует ожидать до  $\Delta S/L = 0,0018$ , что достаточно близко к предельному

значению, составляющему 0,002 (рис. 10). Возможны рекомендации мероприятий, уменьшающих величину неравномерной деформации – соединение ленточных фундаментов в сплошные или перераспределение нагрузки так, чтобы частично выровнять имеющуюся неравномерность.

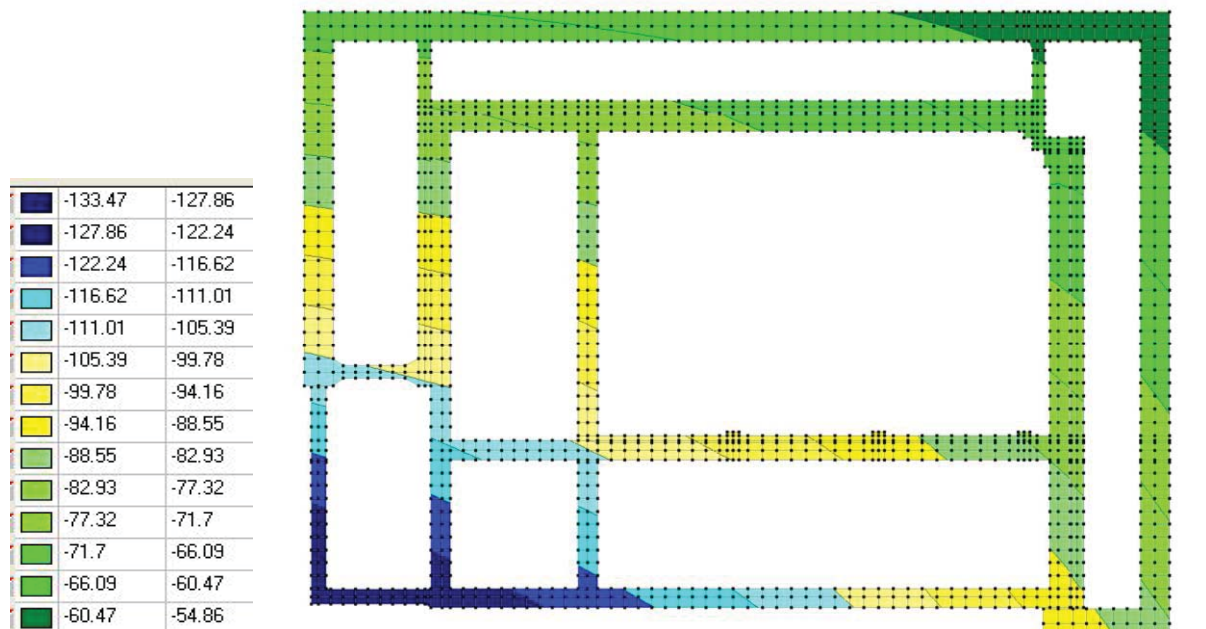


Рис. 10 – Ожидаемые осадки здания магазина после надстройки

**Вывод.** Таким образом, при сопоставлении результатов натурных наблюдений и моделирования НДС «основание – фундамент – сооружение» установлена удовлетворительная сходимость результатов. Определенные расхождения в абсолютных значениях деформаций оснований связаны с их медленным развитием в замоченных глинистых грунтах. Выделены основные риски при надстройке: увеличение усилий в конструктивных элементах; неравномерные деформации основания.

#### Литература

1. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. – К., 2008. – 34 с.
2. ДБН В.1.2-5:2007. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. – К., 2008. – 16 с.
3. ДБН В.3.2-2-2009. Житлові будинки. Реконструкція та капітальний ремонт. – К., 2008. – 16 с.
4. Мангушев Р.А. Геотехника Санкт-Петербурга: монографія / Р.А. Мангушев, А.И. Осокин. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 264 с.
5. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение развития городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шайкин, К.Г. Шайкин. – СПб.: Стройиздат Северо-Запад, Группа компаний «Геореконструкция», 2010. – 551 с.
6. Кичаева О.В. Моделирование зданий, эксплуатируемых в сложных инженерно-геологических условиях, при статических и динамических воздействиях / О.В. Кичаева // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2014. – Вип. 28. – С. 376 – 386.

7. Кичаева О.В. Оценка рисков при реконструкции зданий / О.В. Кичаева // *Галузеве машинобудування, будівництво. Зб. наук. праць.* – Полтава, вип. 3(38). – 2013. – С. 161 – 174.

8. Кичаева О.В. Проблемы восстановления эксплуатационной пригодности системы «основание – фундамент – сооружение» / О.В. Кичаева // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди: зб. наук. праць.* – Рівне: НУВГП. – Вип. 24. – С. 530 – 538.

9. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий: монография / П.А. Коновалов, В.П. Коновалов. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 384 с.

10. Vynnykov, Y. *The Use of Reserves of Bearing Capacity of Base and Foundations During Reconstruction of Buildings* / Y. Vynnykov, N. Zotsenko, A. Yakovlev // *Reconstruction of Historical Cities and Geotechnical Engineering. – Proc. of Intern. Geotechnical Conf. Dedicated to Tercentenary of Saint Petersburg.* – SPtb. – М.: ASV Publishers, 2003. – Vol. 1. – P. 367 – 370.

11. Зоценко, Н.Л. Современная практика моделирования взаимодействия фундаментов с уплотненными основаниями при их возведении и последующей работе // Н.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников // *Численные методы расчетов в практической геотехнике: сб. статей науч.-техн. конф.* – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – С. 164 – 171.

12. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. – 736 с.

Надійшла до редакції 23.04.2014  
©Ю.Л. Винников, А.В. Суходуб, О.В. Кичаева